

**ANÁLISIS ARMÓNICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA DETERMINAR LOS
EFECTOS DE LA INCLUSIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS USANDO TRANSFORMADA DE
WAVELET Y HILBERT HUANG**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
ANÁLISIS ARMÓNICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA
DETERMINAR LOS EFECTOS DE LA INCLUSIÓN DE VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS USANDO TRANSFORMADA DE WAVELET Y HILBERT
HUANG**

**AUTOR:
CRISTIAN GUILLERMO RUBIO ALULEMA**

**TUTOR:
SILVANA FABIOLA VARELA CHAMORRO**

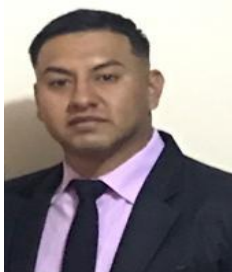
Quito, junio 2019

Cristian Guillermo Rubio Alulema

**ANÁLISIS ARMÓNICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA
DETERMINAR LOS EFECTOS DE LA INCLUSIÓN DE VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS USANDO TRANSFORMADA DE WAVELET Y HILBERT
HUANG**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2019
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Cristian Guillermo Rubio Alulema (Y'1990-M'11). Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa "Miguel de Santiago", se graduó de Técnico Eléctrico. Egresado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en Análisis armónico en la red de distribución eléctrica para determinar los efectos de la inclusión de vehículos eléctricos usando transformada de Wavelet y Hilbert Huang.
crubioa@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Silvana Fabiola Varela Chamorro (Y'1975 – M'02). Se graduó de Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional en el año 2001 y de Master en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Morelia. Actualmente se encuentra trabajando como docente en la Universidad Politécnica Salesiana. Áreas de interés: Transitorios Eléctricos, Sistemas de Distribución.
svarela@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2019 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Silvana Fabiola Varela Chamorro declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Análisis armónico en la red de distribución eléctrica para determinar los efectos de la inclusión de vehículos eléctricos usando transformada de Wavelet y Hilbert Huang* realizado por Cristian Guillermo Rubio Alulema, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, junio 2019



.....

Silvana Fabiola Varela Chamorro

Cédula de identidad: 1713565818

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Cristian Guillermo Rubio Alulema, con documento de identificación N° 1721792719, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “ANÁLISIS ARMÓNICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA DETERMINAR LOS EFECTOS DE LA INCLUSIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS USANDO TRANSFORMADA DE WAVELET Y HILBERT HUANG”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Nombre: Cristian Guillermo Rubio Alulema

Cédula: 1721792719

Fecha: Quito, junio 2019

ÍNDICE GENERAL

Resumen	1
Abstract	1
1. Introducción.....	3
2. Análisis de armónicos en la red de distribución	4
2.1 Inclusión de los EV's.....	4
2.2 Vehículos eléctricos.....	5
2.3 Transformada de wavelet.....	5
2.4 Transformada de wavelet continua (CWT).....	6
2.5 Requisitos que debe cumplir, para ser CWT:	6
2.6 Espectro de energía de la wavelet	7
2.7 Transformada de wavelet inversa.....	7
2.8 Transformada de Wavelet discreta	7
2.9 Transformada de Hilbert-Huang	8
2.10 Transformada de Hilbert	9
2.11 Análisis de armónicos.....	9
2.12 Wavelet Packet.....	10
3. Formulación del problema.....	10
3.1 Análisis de Armónicos en la Red de Distribución.	10
4. Análisis de resultados.....	12
4.1 Reconstrucción de la señal.....	13
4.2 Análisis de Wavelet	14
4.3 Análisis armónico.....	14
4.4 Análisis de Hilbert Huang.....	15
5. Conclusiones.....	16
6. Trabajos futuros	17
7. Referencias	17
8. Estado del arte.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis armónico en la red de distribución eléctrica.	4
Figura 2. Árbol de descomposición. Db4 nivel 6.	11
Figura 3. Señal original.	11
Figura 4. Nodo 63. Árbol de descomposición.	11
Figura 5. Nodo 126. Árbol de descomposición.	12
Figura 6. Reconstrucción de señal de red de un vehículo.	13
Figura 7. Reconstrucción, señal de red de tres vehículos.	14
Figura 8. Señal original y descomposición corriente familia DB4.	14
Figura 9. Coeficientes bajas y altas frecuencias señal original corriente familia DB4. ..	14
Figura 10. Señal recuperada de corriente familia DB4.	14
Figura 11. Porcentajes armónicas de la 1ra a la 32 corriente.	15
Figura 12. Valores rms, armónicas de la 1ra a la 32 corriente.	15
Figura 13. Porcentajes armónicas de la 1ra a la 32 corriente.	15
Figura 14. Valores rms, armónicas de la 1ra a la 32 corriente.	15
Figura 15. Funciones de modo intrínseco corriente.	15
Figura 16. Funciones de modo intrínseco corriente.	16
Figura 17. Señal en Tiempo - Frecuencia	16
Figura 18: Resumen e indicadores del estado del arte.	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bandas de descomposición por niveles.	11
Tabla 2. Características vehículo eléctrico UPS.....	13
Tabla 3. Comparación con la norma IEEE 519 – 2014. Corriente de un vehículo.	16
Tabla 4. Comparación con la norma IEEE 519 – 2014. Corriente de tres vehículos	16

ANÁLISIS ARMÓNICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA DETERMINAR LOS EFECTOS DE LA INCLUSIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS USANDO TRANSFORMADA DE WAVELET Y HILBERT HUANG

Resumen

Los vehículos eléctricos son una alternativa para reemplazar a los vehículos convencionales de combustión, contribuyendo a la reducción de las emisiones perjudiciales para el medio ambiente. El reemplazo de los vehículos convencionales por eléctricos implica una demanda eléctrica mayor.

Es necesario que la red eléctrica sea lo suficientemente robusta para soportar el aumento de carga que implicarían los vehículos eléctricos. Además, la naturaleza de la carga es no lineal, lo que puede producir problemas de armónicos en la red de eléctrica. Por ello es necesario realizar un estudio para analizar el impacto de los armónicos en la red eléctrica, así como la calidad de energía con el vehículo eléctrico incluido en la red.

Para lograr el análisis armónico de la red se hace uso del vehículo eléctrico que posee la Universidad Politécnica Salesiana, con la ayuda de un analizador Fluke se obtienen mediciones de la red, las cuales servirán como datos para realizar el análisis usando la transformada de Wavelet y Hilbert Huang para cuantificarlos con el fin de determinar cuál análisis es más preciso.

Para ello se descompone la red con la finalidad de visualizar las armónicas presentes en la misma, para comparar con los niveles permitidos en la norma IEC y determinar si están en niveles aceptables para el funcionamiento normal.

Abstract

Electric vehicles are an alternative to replace conventional combustion vehicles, contributing to the reduction of emissions harmful to the environment. The replacement of conventional vehicles with electric ones implies a greater electrical demand.

It is necessary that the electrical grid is robust enough to withstand the increased load that electric vehicles would imply. In addition, the nature of the load is non-linear, which can cause harmonic problems in the electrical network. Therefore, "it is necessary to carry out a study to analyze the impact of harmonics on the electric network", as well as the quality of energy with the electric vehicle included in the network.

To achieve the harmonic analysis of the network, the electric vehicle owned by the Salesian Polytechnic University is used, with the help of a Fluke meter, measurements of the network are made, which will serve as data to perform the analysis using the Wavelet transform Hilbert Huang to quantify them in order to determine which analysis is more accurate.

To do this, the network is broken down in order to visualize the harmonics present in it, to compare with the levels allowed in the IEC standard and determine if they are at acceptable levels for normal operation.

Palabras Clave: Vehículos eléctricos, transformada de wavelet, análisis

armónico, transformada de Hilbert Huang, IMF.

Keywords: Electric vehicles, wavelet transform, harmonic analysis, Hilbert huang transform, IMF.

1. Introducción

Con las preocupaciones actuales de emisión de CO₂ producido por los vehículos de combustión, además de registrar una disminución considerable en las reservas de carbón y petróleo, es necesario buscar una opción que mitigue estos problemas. Es por lo que el concepto de vehículo eléctrico se ha convertido en un tema atractivo.

El continuo desarrollo en la búsqueda de la eficiencia en transmisión y en la densidad de almacenamiento de energía en las baterías, permiten que los vehículos eléctricos actuales puedan reemplazar a los vehículos que usan combustibles fósiles para su funcionamiento [1].

Pero la adopción de los EV's plantea preguntas sobre el impacto que estos tendrán sobre la red, pues representa un nuevo tipo de carga al consumidor. Esto implica que exista una potencia mayor solicitada por parte de los usuarios además de una concurrencia incierta. Además de ser uno más de los aspectos a considerar para el diseño de las redes de distribución.

Los EV's poseen una batería, la misma que debe cargarse con corriente continua. Pero estas cargas no son más que inversores dispuestos de diferentes formas controlados con dispositivos electrónicos. Por ello el perfil exacto de las cargas, el factor de potencia, las emisiones de armónicos entre otras propiedades serían más volátiles e impredecibles, pues con otro tipo de carga como las que poseen los elementos domésticos es en cierta medida más predecible [2].

La carga de las baterías de los EV's plantea un problema para los sistemas de distribución de energía, pues al haber circuitos electrónicos presentes en los cargadores de los EV's, se producen armónicos que provoca una distorsión de corriente.

Por esta razón es necesario realizar estudios, para determinar los niveles

críticos de penetración que implica los EV's [3].

En [4] presenta una simulación de una estación de carga para el análisis de armónicos, los cuales se adapta a los niveles de tensión de la red de distribución de la ciudad de Cuenca Ecuador. Analiza la cantidad de armónicos que la estación de carga en mención puede producir en la red eléctrica de transmisión. Llega a determinar que el quinto armónico tanto de voltaje como de corriente es el más crítico.

En [5] presenta un análisis de la calidad de potencia, tomando en cuenta los efectos de la inclusión de las estaciones de carga de los EV's. Además de tomar en cuenta la inclusión de energía renovable de tipo eólico y fotovoltaico conectadas a la red. Además, lo modela como un sistema de prueba de una red de distribución. Llegando a determinar que la inclusión de EV's y de energías renovables causan problemas severos a la calidad de energía, en cuanto a frecuencia, fluctuaciones de voltaje, caídas de voltaje, distorsión armónica y reducción de factor de potencia se refiere.

En [6] propone un modelo que permite la detección de perturbaciones, para el análisis de armónicos. Para lo cual hace uso de la transformada de Wavelet probabilística. La cual consta de dos capas. Con la primera capa aplica transformada de Wavelet para extraer la información de varios disturbios en el sistema. En la segunda capa usa una red neuronal probabilística que analiza los patrones de la onda distorsionada en el dominio del tiempo para posteriormente clasificarlo. Llega a determinar que al analizar el disturbio con la Wavelet-probabilística.

En [7] propone un método que permite el análisis de datos de los IMF, para lo cual hace uso de la transformada de Hilbert Huang. Esto consta en seleccionar los máximos y mínimos

locales de la señal analizada, para luego interpolar creando un spline de máximos y mínimos, el cual da como

resultado el promedio de la media local de las envolventes de dichos puntos.

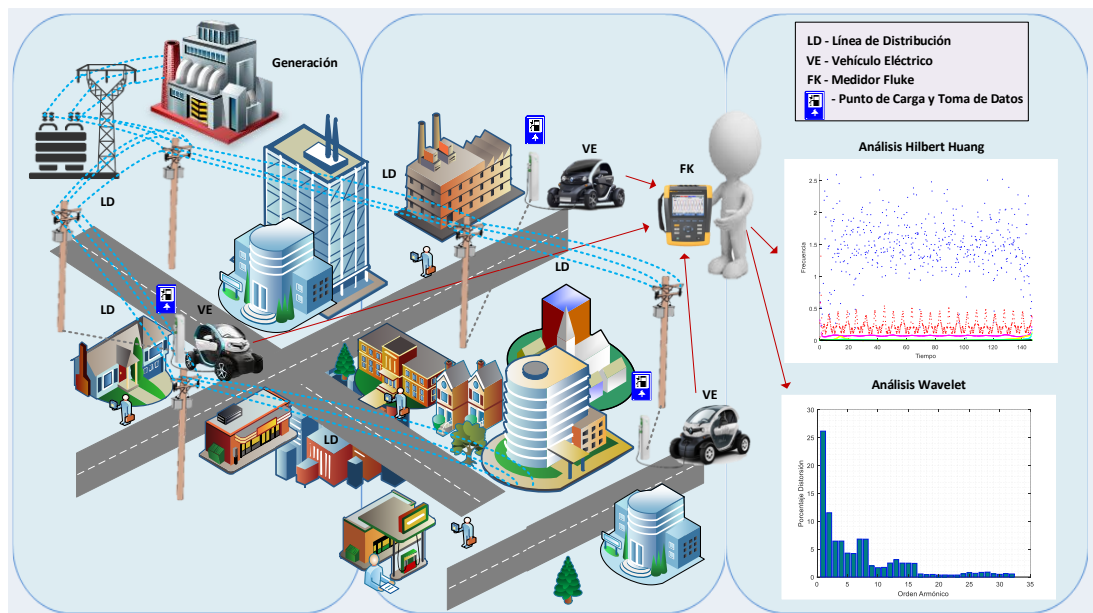


Figura 1. Análisis armónico en la red de distribución eléctrica.

2. Análisis de armónicos en la red de distribución

La parte de distribución es la última etapa antes de ser entregada la energía a cada usuario. Para ello se hace uso de los transformadores de distribución, que adecuan el voltaje de subtransmisión a niveles de voltaje normalizados. Pero estos transformadores deben ser dimensionados de manera adecuada para aprovechar al máximo su capacidad, para ello se hace uso de la demanda de diseño (DD), la misma que tiene dependencia del número y tipo de usuarios alimentados a partir del mismo transformador. La demanda de diseño está ligada a el consumo de cada usuario, para esto es necesario el análisis de armónico, pues tenemos cargas presentes de todo tipo de origen electrónico [7], [8]. La no linealidad de cargas presentadas en los sistemas de distribución causa distorsión en las ondas de tensión y corriente. Esto implica que se generen corrientes no senoidales a comparación de las señales

senoidales que se esperaría obtener ante la ausencia de cargas no lineales, es decir, con mayor contenido de armónicos, a pesar de que estén alimentados de una señal senoidal pura. Provocando la distorsión de tensión cuando fluyen por las impedancias de la red eléctrica [9]. Esto ocasiona problemas pues se produce saturación magnética de materiales, afecta a la configuración geométrica de las máquinas eléctricas, comportamiento no lineal de las cargas. Es necesario realizar un análisis de armónicos, para posteriormente tratar de mitigar en gran medida dicho problema [10].

2.1 Inclusión de los EV's

La inclusión de los vehículos eléctricos representaría un aumento a la demanda eléctrica diaria lo cual se ve reflejado evidentemente en el consumo diario de cada usuario y por ende el aumento de armónicos en la red de distribución por las características que tienen los cargadores para dichos vehículos los cuales usan muchos rectificadores [11].

La parte no lineal de los vehículos eléctricos se encuentran en sus cargadores, inyectando armónicos a la red de distribución cuando estén conectados [12].

La estructura del rectificador y el número de pulsos dependerán de la magnitud y la frecuencia armónica [13].

Las perturbaciones producidas por armónicos varían según la carga y pueden alcanzar valores mucho más elevados cuando se trata de cargas capacitivas. Es por lo que los armónicos dependerán estrictamente de los tipos de cargadores que posean los EV's [14], [15].

2.2 Vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos son herramientas básicas en la producción y en la vida de la sociedad humana, son transportes que se utiliza día a día, que traerá una gran presión a la red eléctrica de distribución en el momento que un gran número de vehículos se conecta a la red eléctrica [16]. Las cargas de vehículos eléctricos aumentaran según su uso, China se centra en vehículos eléctricos: auto buses eléctricos, autos eléctricos, entre otros. Estos tienen efecto micro y efecto macro de carga en la red eléctrica, sin embargo, la carga de los EV's tiene factores positivos [17]. Además estos necesitan un aparcamiento, considerado como un sistema de almacenamiento a corto plazo [18].

2.3 Transformada de wavelet

Una wavelet es una función en forma de onda que puede ser manipulada mediante procesos de traslación (tiempo) y dilatación (tracción y compresión) [19]. La transformada de Wavelet es una herramienta matemática, empleada para analizar los armónicos; consiste en estudiar los problemas que se presentan en la calidad de energía, de manera coetánea, entre el tiempo y la frecuencia. De este, parten varios métodos los cuales

tienden a manipular una wavelet, según las funciones en las que se basan [20].

Para una óptima aplicación, de la transformada de wavelet, se debe tener en cuenta el origen de la señal y los parámetros para el análisis de las muestras; con lo que se debe elegir la wavelet adecuada.

Existe una variedad de familias de wavelets, las cuales permiten analizar de manera eficaz las señales propuestas. Esto depende del origen de la señal. Entre las cuales se mencionan:

Wavelet Haar: Son funciones con propiedades lineales y están dadas por la ecuación (1):

$$s(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < 0,5 \\ -1, & 0,5 < t < 1 \\ 0 & \text{otros casos} \end{cases} \quad (1)$$

Wavelet Morlet: Se debe tener en cuenta que se emplea un rango de valores reales; está definida por la ecuación (2):

$$s(t) = \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right) \cos(5t) \quad (2)$$

Para señales discretas se emplea el grupo de wavelets denominado Daubechies, estas wavelets tienen una característica de simetría, además de ser un grupo de 3 funciones ortogonales.

Wavelet sombrero mexicano: Esta onda facilita la comprensión de las propiedades de la transformada de Wavelet continua. La wavelet sombrero mexicano es la función de distribución Gaussiana $e^{-r^2/2}$. Y se le define con la ecuación (3):

$$\psi(t) = (1 - r^2)e^{-r^2/2} \quad (3)$$

Existen algunos parámetros que se deben considerar para detectar la calidad de onda que se trasmite al sistema. En la red eléctrica se eligen dos de ellos, estos son: amplitud y espectro; los demás

parámetros se modifican a la par de las ondas cuando se aplica la transformada de wavelet en proceso de manipulación como es, por ejemplo, la dilatación. Lo cual se lo realiza para evitar distorsiones armónicas en el sistema de distribución [21].

La wavelet madre es la función principal de un sistema, de la cual parten las demás funciones que se deberán elegir de acuerdo con las acciones necesarias a los temas planteados[22]. La wavelet madre está definida por la ecuación (4):

$$\psi_{\tau,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (4)$$

Donde:

$\psi_{\tau,s}(t)$: Función Wavelet madre.

τ : Parámetro de traslación.

s : Parámetro de escala.

A partir de esta función principal, se realizan ciertas transformaciones, en función a la escala y traslación de la wavelet. Estas nuevas combinaciones se las emplea, oportunamente, en el análisis de armónicos de una red eléctrica.

Una vez obtenida la wavelet madre se deben realizar dos básicas manipulaciones, para que esta sea más flexible que la función principal. Las manipulaciones que se deben realizar consisten en dilatarla o comprimirla (proceso llamado: dilación), lo cual modifica su escala, o moverla (proceso conocido como: traslación), esta transformación está en función del tiempo [23].

A continuación, se muestran las transformaciones elementales de la wavelet madre:

Traslación:

$$\psi(t-b) \quad (5)$$

Escala:

$$\frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t}{a}\right) \quad (6)$$

Traslación y escala:

$$\frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (7)$$

Donde:

a: Escala.

b: Traslación.

2.4 Transformada de wavelet continua (CWT)

Esta transformada analiza las señales y la wavelet elegida, esto dentro de rangos reales. El comportamiento de este método se lo puede describir como un mismo número de oscilaciones dentro de un dominio.

Se la puede definir de la siguiente manera [24]:

$$\text{CWT}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^*\left[\frac{t-b}{a}\right] dt \quad (8)$$

Donde:

$\psi(t)$: Wavelet madre

a: Escala

b: Traslación.

Además, tiene la particularidad de desarrollarse en diferentes wavelets, pero teniendo en cuenta que debe ser invertible, para cumplir con los requisitos que se detallan a continuación:

2.5 Requisitos que debe cumplir, para ser CWT:

Para que se reconozca como wavelet, se deben seguir los siguientes parámetros:

1. El primer parámetro, consiste en que la Wavelet debe contar con energía infinita:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty \quad (9)$$

Donde:

E: Energía de una función.

$\psi(t)$: Función Wavelet (magnitud).

2. Si se cumple la condición de que la función $\psi(t)$ es la transformada de Fourier de $\psi(t)$, sería:

$$\psi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(f) e^{-i(2\pi f)t} df \quad (10)$$

Donde:

$\psi(t)$: Función Wavelet.

De acuerdo con esta condición, la wavelet debe contener:

$$Cg = \int_0^{\infty} \frac{|\psi(f)|^2}{f} df < \infty \quad (11)$$

Donde:

$\psi(t)$: Función Wavelet.

Cg: Constante o condición de admisibilidad.

Cabe mencionar, que el valor de Cg depende de la Wavelet que se eligió anteriormente.

3. La última condición consiste en que la transformada de Fourier debe permanecer en rangos reales, por lo tanto, en frecuencias negativas esta función debe desaparecer [25].

2.6 Espectro de energía de la wavelet

En la condición de admisibilidad (11), los únicos componentes que se filtran son los que se encuentra en un rango

finito de frecuencias, las cuales deben ser proporciones representativas del espectro de energía wavelet.

Teniendo en cuenta la manipulación de la wavelet, cabe recalcar que las frecuencias varían conforme la wavelet madre se expanda o comprima a través del parámetro de dilatación. Es de suma importancia considerar el espectro de energía, puesto que esto definirá el carácter y rango de frecuencias de la cual se compone la wavelet.

2.7 Transformada de wavelet inversa

Esta transformada, permite regresar a la función en la cual se originó el análisis. Esto se logra mediante integraciones de las escalas y traslaciones realizadas. Cabe mencionar que para realizar la transformada, se emplea la función original [26]. La transformada de Wavelet inversa se puede definir como:

$$x(t) = \frac{1}{Cg} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} T(a,b) \psi_{a,b}(t) \frac{da db}{a^2} \quad (12)$$

2.8 Transformada de Wavelet discreta

Es un método en el cual se presentan variedad de funciones, las cuales están basadas en coeficientes que permiten la reconstrucción de la señal $s(t)$. Para este método se debe asumir que las señales tienen energía finita, es decir, tienen un rango, de valores, limitado.

Una vez obtenidos los valores de la transformada discreta, se determinará la estructura de la señal analizada.

Se la puede definir como:

$$\psi_{j,k}[n] = 2^{-\frac{j}{2}} * \psi[2^{-j}n - k] \quad (13)$$

Donde:

$\tau = 2^j$: Traslación.

$s = 2^j$: Escala.

2.9 Transformada de Hilbert-Huang

La transformación de Hilbert-Huang (HHT) es un algoritmo de dos partes, el cual combina la descomposición empírica y el análisis espectral de Hilbert, para arreglar procesos no lineales y no estacionarios. La HHT no se basa en una selección a prioridad de las funciones, más bien descompone la señal en forma de oscilación intrínseca derivada de la sucesión de los extremos.

Descomposición en modo empírico

EMD es una forma de descomposición multiresolución que elimina la señal no estacionaria o no lineal en muchos FMI que se originaron a partir de una señal analizada en sí (Huang y otros 1998, Huang y otros 2003, Yan y Gao 2007). Pero el FMI debe cumplir dos condiciones.

1. La cantidad de extremos y de cruces por cero son iguales o difieren en un máximo de uno.
2. En cualquier punto, el valor medio entre la envolvente definida por los máximos y mínimos locales, son cero.

El EMD podría describirse y expresarse en los FMI mediante el siguiente proceso:

1. Para la señal analizada $x(t)$, encuentre todos los máximos y mínimos locales, luego ajústelos en la envolvente superior $x_{max}(t)$ y la envolvente inferior $x_{min}(t)$ mediante spline cúbico.
2. Para obtener el sobre de los sobres superiores e inferiores:

$$m_1 = \frac{[X_{max}(t) + X_{min}(t)]}{2} \quad (14)$$

3. Calcule la diferencia entre $x(t)$ y $m_1(t)$, dando como resultado el primer componente $h_1(t)$:

$$h_1(t) = x(t) - m_1(t) \quad (15)$$

4. Para juzgar el resultado $h_1(t)$, si concuerda con las dos condiciones del FMI, registre $c_1(t) = h_1(t)$. y es el primer componente del FMI. De lo contrario, trate $h_1(t)$ como la señal analizada y la iteración en $h_1(t)$ por los pasos 1-4.

5. A través de la iteración k veces, la diferencia entre la señal y la envolvente media que se define como $h_{1k}(t)$

$$h_{1k}(t) = h_{(k-1)}(t) - m_{1k}(t) \quad (16)$$

Donde:

$m_{1k}(t)$: Es el valor medio de la envolvente después de k veces la iteración

$h_{1(k)}(t)$: Es la diferencia entre la señal y la media de la iteración. Si $h_{1k}(t)$ satisface el componente del FMI, registrado como $c_1(t) = h_{1k}(t)$:

6. El residuo se expresa como:

$$r_1(t) = x(t) - c_1(t) \quad (17)$$

Entonces, el $r_1(t)$ puede considerarse como una nueva señal, iterar repetidamente para obtener los otros IMF de acuerdo con los pasos 1-5 y obtener $c_n(t)$ y un residuo $r_n(t)$.

$$r_1(t) = c_2(t) - r_2(t) \quad (18)$$

Por lo tanto, la señal $x(t)$ se puede escribir como:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n C_j(t) + r_n(t) \quad (19)$$

Donde $c_j(t)$ es el j th FMI, $r_n(t)$ es el residuo de la descomposición de la señal. Sin embargo, es imposible que cada señal satisfaga perfectamente las dos condiciones del FMI. La condición de detención de iteración se debe considerar como:

$$\sum_{t=0}^T \left[\frac{|h_{i(k-1)} - h_{1k}(t)|^2}{h_{i(k-1)}^2} \right] < SD \quad (20)$$

Donde SD es la desviación estándar, y generalmente se puede controlar entre 0.2 y 0.3. Entonces, es el expreso completo del proceso EMD. La señal puede ser reconstruida por la **ecuación** (20).

2.10 Transformada de Hilbert

La técnica HHT se basa en el cálculo de frecuencia instantánea. Generalmente, todas las señales analíticas se pueden expresar por la suma de la parte real $x(t)$ y la parte imaginaria $y(t)$. Es necesario construir una señal analítica como **Ecuación** (21). Donde $a(t)$ es la amplitud instantánea, y $\theta(t)$ es la fase instantánea. La parte imaginaria de la señal analítica se crea mediante la transformación de Hilbert de la señal. Por lo tanto, la transformada de Hilbert se expresa como **Ecuación** (22).

$$z(t) = c(t) + iy(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \quad (21)$$

$$y(t) = \frac{1}{\pi} \int \frac{X(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (22)$$

Donde H presenta la operación de transformación de Hilbert. Y la parte imaginaria $y(t)$ es el resultado de $H[x(t)]$. Por lo tanto, la **Ecuación** (21) puede escribirse por medio del sistema de coordenadas polares [27] [28].

$$a(t) = \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2} \quad (23)$$

$$\theta(t) = \arctan \left[\frac{y(t)}{x(t)} \right]$$

De este modo, la frecuencia instantánea se puede dar como.

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (24)$$

2.11 Análisis de armónicos

Para el análisis de armónicos es necesario descomponer la señal mediante filtros, para la descomposición por niveles. Existen coeficientes de aproximación y detalle los cuales se describen por las ecuaciones.

$$cA[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h(k - 2n) * x(k) \quad (25)$$

$$cD[n] = \sum_{k=0}^{N-1} g(k - 2n) * x(k) \quad (26)$$

Donde:

$cA[n]$ Coeficientes de aproximación.

$cD[n]$ Coeficientes de detalle.

$x(k)$ Señal discreta.

$h(k-2n)$ Filtros pasa bajos de la función Wavelet madre.

$g(k-2n)$ Filtros pasa altos de la función Wavelet madre.

El termino $2n$ se refiere a la decimacion, es decir permite que la señal tenga la

mitad de las muestras en cada coeficiente.

2.12 Wavelet Packet.

Existe una herramienta computacional propia de Matlab que es de gran utilidad para realizar un análisis multiresolución, este análisis tiene un inconveniente puesto que descompone a los coeficientes de aproximación más no de detalle. Se utiliza ingresando el comando `wavemenu` en el Command Window de Matlab.

3. Formulación del problema

La red de distribución es la encargada de llevar la energía a cada usuario, el nivel de tensión es menor a comparación a la red de transmisión. Por esa razón la inclusión de los vehículos eléctricos es en la red de distribución. Pero existe un gran inconveniente, generado por la naturaleza de la carga que representan los vehículos eléctricos, estos producen armónicos en dicha red. Esto es un problema el cual debe ser analizado, ya que la presencia de armónicos llega a ser perjudicial, debido a que los elementos conectados a la red sufren varios efectos como la sobre carga de conductores, mal funcionamiento de los relés de protección, calentamiento del conductor de neutro, entre otras.

La problemática es analizar dichos armónicos presentes en la red de distribución para conocer de alguna manera la calidad de energía y se podría posteriormente tomar medidas sobre esos armónicos dependiendo del caso.

3.1 Análisis de Armónicos en la Red de Distribución.

Existen muchos métodos para el análisis de armónicos, pero se debe de escoger el método correcto, tomando en cuenta la inclusión de vehículos eléctricos. Para ello existen criterios el cual nos ayudan a escoger un método exacto y no uno al azar.

Para el análisis de armónicos de la red de distribución tomando en cuenta la

inclusión de EV's se usa la Transformada de Wavelet, familia de Daubechies; para obtener el componente armónico de las formas de onda analizadas de corriente.

Para el análisis se usó las mediciones de carga del vehículo eléctrico que posee la Universidad Politécnica Salesiana.

Los datos de corriente registrados con el Fluke 435 son valores rms, por lo que es necesario reconstruir la señal con la finalidad de obtener la forma de onda no estacionaria.

Para obtener los armónicos de la señal no estacionaria obtenida se realiza un análisis multiresolución, para dividir la señal en varias bandas de frecuencia uniforme, las cuales están comprendidas entre algunas frecuencias en específico, siendo el punto medio de cada banda el armónico deseado. En la Tabla 1, se describe las bandas para el análisis.

El análisis multiresolución se logra aplicando el árbol de descomposición. Para este caso de estudio se usa la familia dB4 con el nivel 6. Debido a que en [29] demuestran que DB4 es la mejor familia y que según la norma considera el nivel 6 más apropiado. Con el nivel 6 se calcula los armónicos pares e impares, al agrupar bandas de dos en dos, también toma en cuenta las líneas espectrales mencionados en la norma, además que la dispersión de la energía disminuye debido a que el armónico se encuentra en la mitad de dos bandas en salida del árbol de descomposición.

Con las bandas descritas en la Tabla1 se puede obtener hasta la armónica 31.

Tabla 1. Bandas de descomposición por niveles.

Frecuencia Hz			
Banda	Inferior	Central	Superior
C1	30	60	90
C2	90	120	150
C3	150	180	210
C4	210	240	270
C5	270	300	330
C6	330	360	390
C7	390	420	450
C8	450	480	510
C9	510	540	570
C10	570	600	630
C11	630	660	690
C12	690	720	750
C13	750	780	810
C14	810	840	870
C15	870	900	930
C16	930	960	990
C17	990	1020	1050
C18	1050	1080	1110
C19	1110	1140	1170
C20	1170	1200	1230
C21	1230	1260	1290
C22	1290	1320	1350
C23	1350	1380	1410
C24	1410	1440	1470
C25	1470	1500	1530
C26	1530	1560	1590
C27	1590	1620	1650
C28	1650	1680	1710
C29	1710	1740	1770
C30	1770	1800	1830
C31	1830	1860	1890

Para obtener las 31 armónicas se emplea un árbol de descomposición de 6 niveles. El árbol descompone la señal original en coeficientes de aproximación y coeficientes de detalle para cada nivel, empezando desde el 1 hasta llegar al nivel 6.

En la Figura 2 se observa el árbol de descomposición usando DB4 a 6 niveles y con entropía Shannon.

Cada ramificación nueva de los coeficientes de aproximación y detalle forman un nuevo nivel hasta llegar al nivel 6. En dicho nivel existen 64 nodos.

La Figura 3 indica la señal única del árbol de descomposición.

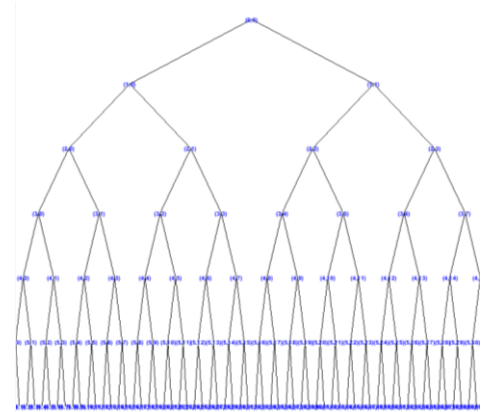


Figura 2. Árbol de descomposición. Db4 nivel 6.

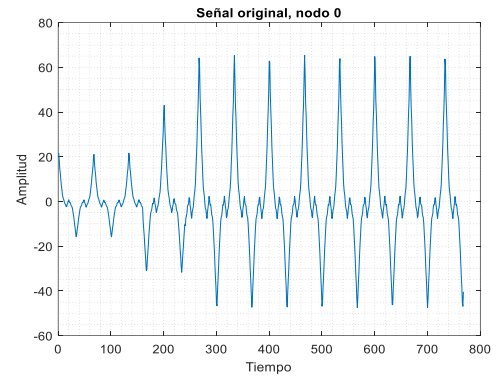


Figura 3. Señal original.

En las Figuras 4 y 5 se puede apreciar los datos de los nodos 63 o (6,0) y 126 o (6,63) del árbol de descomposición usando DB4 a 6 niveles y con entropía Shannon.

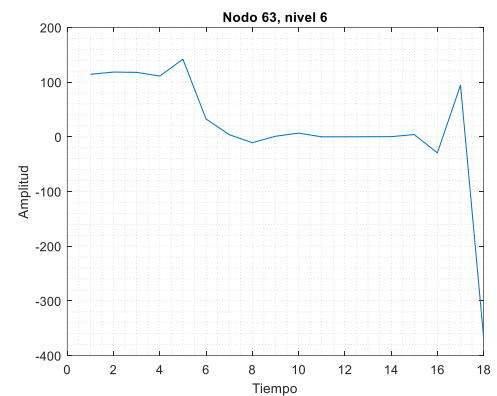


Figura 4. Nodo 63. Árbol de descomposición.

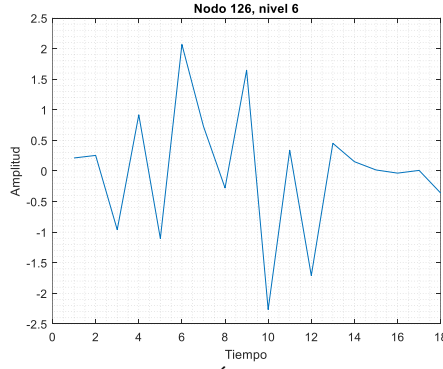


Figura 5. Nodo 126.Árbol de descomposición.

Para calcular la componente rms de la señal total de corriente se usa la ecuación (27).

$$\sqrt{\frac{1}{2^N} \sum_{i=0}^{2^j-1} \sum_{k=0}^{2^{N-j}-1} [c_j^{*i}(k)]^2} \quad (27)$$

Donde:

I_{rms} Corriente eficaz

2^N Número de muestras

c_j^{*i} Coeficientes de salida del árbol de descomposición de corriente respectivamente.

i Nodos del árbol.

j Nivel de descomposición.

Para calcular las demás componentes armónicas, es decir para calcular desde la armónica 2 hasta la armónica 32 se usa la siguiente ecuación.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{2^{N-j}-1} [c_j^{i_1}(k)]^2 + \sum_{k=0}^{2^{N-j}-1} [c_j^{i_2}(k)]^2}{2^N}} \quad (28)$$

Algoritmo para analizar armónicos Wavelet

Paso 1: Reconstrucción de la señal de corriente

Paso 2: Calcular el árbol que descompone en 6 niveles con la familia DB4, entropía Shannon y la señal reconstruida.

Paso 3: Extraer coeficientes del árbol de descomposición. Cada nodo nivel 6.

Paso 4: Aplicar fórmula para el cálculo desde la 1 hasta la armónica 32.

Paso 5: Calcular porcentajes de componentes armónicas desde la 1 hasta la 32.

Paso 6: Graficar porcentajes de componentes armónicas.

Terminar

Algoritmo para el análisis de armónicos Hilbert Huang.

Paso 1: Reconstrucción de la señal de corriente.

Paso 2: Sumar las señales resultantes de cada vehículo.

Paso 3: Cálculo de puntos máximos y mínimos de la señal ingresada.

Paso 4: Calcular la primera IMF.

Paso 5: Si la IMF resultante puede descomponerse. **Entonces**

Ir al paso 3

Caso contrario

Calcular IMF final.

Paso 6: Graficar IMF.

Terminar

4. Análisis de resultados

En el siguiente apartado, se analiza los resultados arrojados en las simulaciones. Para realizar el análisis de armónicos se tomó en cuenta el vehículo eléctrico propiedad de la UPS. El cual tiene las características que se muestran a continuación en la Tabla 2.

Las características presentadas en la Tabla 2 pertenecen al Renault Twizy, así

es llamado el vehículo eléctrico de la UPS.

Cuando se lo carga, el Renault Twizy es equivalente a tener encendido una plancha doméstica ya que consume 2000W.

Tabla 2. Características vehículo eléctrico UPS.

Característica	Variable
Motor	Eléctrico asíncrono
Velocidad	7500 rpm
Autonomía	100km
Batería	Ion litio- 6.1kw
Tipo de carga	Único
Duración de carga	210 minutos aproximadamente
Potencia	8 kw/rpm
Velocidad máxima	80 Km/h

El cargador provee energía eléctrica continua, para lograr esto internamente hace uso de un rectificador de onda, el mismo que transforma la corriente alterna de 220V a 60V de corriente continua para alimentar a la batería. Posteriormente este voltaje es reducido a 12V para cargar la batería de servicio.

La toma de datos de carga que se realizó fue durante el tiempo que demora en cargar el vehículo. El tiempo de carga aproximado es de 3 horas y media, a través de una toma exclusiva de 220V, para así garantizar que los datos obtenidos en las mediciones sean del vehículo eléctrico sin afectaciones de otros circuitos.

Las variables monitoreadas fueron, corriente pico, corriente, factores de cresta, frecuencia, corriente de medio ciclo, potencias, factor de potencia, DPF, Frecuencia, Factor K A y THD [30].

El analizador proporciona 3 tipos de datos mínimos, medios y máximos, de los cuales se usan los medios para este estudio. Todas estas variables fueron de utilidad para la reconstrucción de la señal mediante la serie de Fourier.

Se usó un total de 12 ciclos, cada ciclo tiene 64 muestras, es decir para el análisis de armónicos se usó 768 muestras.

De acuerdo a las mediciones realizadas con el equipo fluke al vehículo eléctrico, se realiza la reconstrucción de la señal, como se observa en las Figuras 6 y 7.

4.1 Reconstrucción de la señal

Para la reconstrucción de la señal se posee datos de corriente del vehículo eléctrico.

En la Figura 6 se observa la reconstrucción de la señal usando los armónicos medidos con el dispositivo Fluke

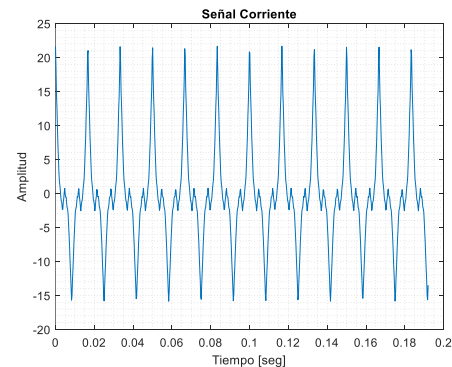


Figura 6. Reconstrucción de señal de red de un vehículo.

Mediante esta gráfica podemos observar que la forma pareciera ser la misma, si aplicamos un zoom a la gráfica podemos ver que es una gráfica es no estacionaria, pero aun así para nuestro caso de estudio se ha creado, un escenario que asumiríamos que en un punto de carga se van a conectar hasta tres vehículos que se maneja con la misma forma de onda producida originalmente, para los cuales ingresamos tiempos diferentes para cada vehículo, para el primero vehículo tiempo de 0 milisegundos, el segundo vehículo en los 6 milisegundos y el tercer vehículo en los 8 milisegundos. Con la entrada de los 3 vehículos la señal reconstruida de corriente, se observar en la Figura 7.

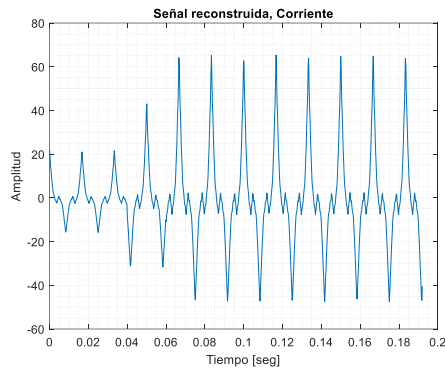


Figura 7. Reconstrucción, señal de red de tres vehículos.

En la Figura 7 se observa la reconstrucción de la señal usando los armónicos medidos con el dispositivo Fluke.

Por lo que se puede observar en la Figura 7, muestra una señal no estacionaria; a la cual se analizará con las Transformadas de Wavelet y Hilbert Huang, respectivamente.

4.2 Análisis de Wavelet

A continuación, se observa el análisis de corriente usando la Transformada de Wavelet conforme al algoritmo presentado en el punto 3.1.

En la Figura 8 se observa la señal original de corriente de carga de vehículos eléctricos. Posteriormente se observa la descomposición de la señal usando la familia DB4 Wavelet.

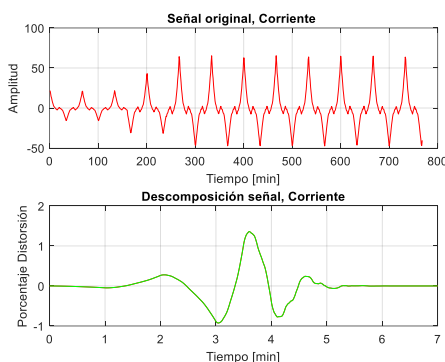


Figura 8. Señal original y descomposición corriente familia DB4.

En la Figura 9 se visualiza la descomposición de la señal en

coeficientes de bajas frecuencias y altas frecuencias de la señal original.

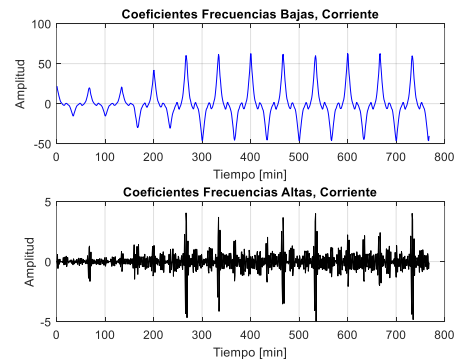


Figura 9. Coeficientes bajas y altas frecuencias señal original corriente familia DB4.

En la Figura 10 se observa la señal recuperada en base a los coeficientes de bajas frecuencias como altas frecuencias.

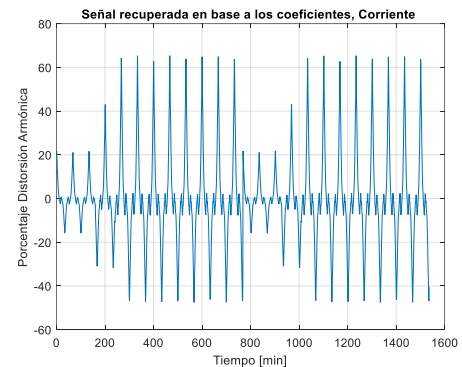


Figura 10. Señal recuperada de corriente familia DB4

4.3 Análisis armónico

Para análisis de armónicos de corriente se presenta los porcentajes obtenidos de las armónicas desde la primera hasta la 32.

En la Figura 11 se observa los armónicos desde el 2 hasta el 32 en porcentajes datos de un vehículo.

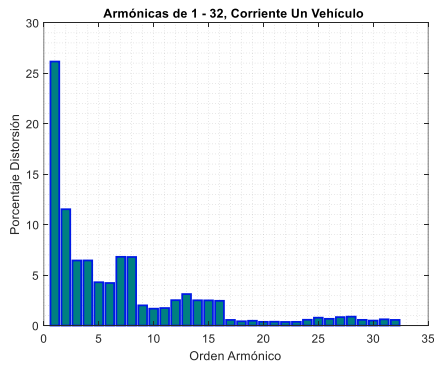


Figura 11. Porcentajes armónicas de la 1ra a la 32 corriente.

En la Figura 12 se observa los armónicos desde el 2 hasta el 32 en valores rms datos de un vehículo.

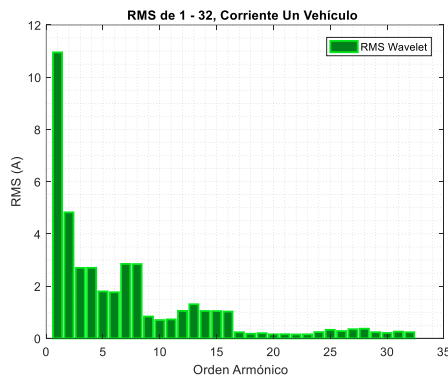


Figura 12. Valores rms, armónicas de la 1ra a la 32 corriente.

En la Figura 13 se observa los armónicos desde el primero hasta el 32 en porcentajes datos de tres vehículos

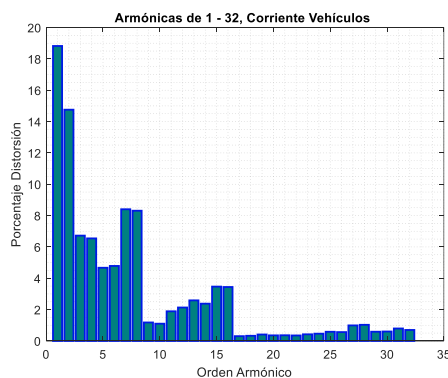


Figura 13. Porcentajes armónicas de la 1ra a la 32 corriente.

En la Figura 14 se observa los armónicos desde el primero hasta el 32 en valores rms datos de tres vehículos.

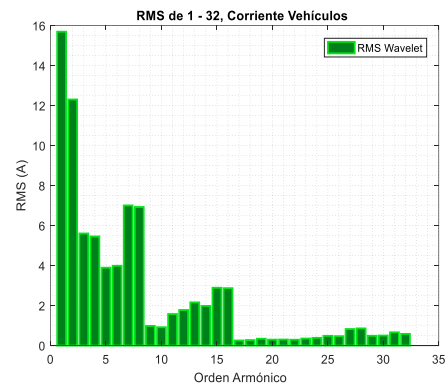


Figura 14. Valores rms, armónicas de la 1ra a la 32 corriente.

4.4 Análisis de Hilbert Huang

A continuación, se observa el resultado de la señal de corriente utilizando la Transformada de Hilbert Huang utilizando un algoritmo presentado en el numeral 3.1; el cual nos da como resultados, las funciones de modo intrínseco (IMF) de corriente como se observa en las Figuras 15,16 respectivamente. Además, a esto se calcula y grafica la transformada de Hilbert Huang como se aprecia en la Figura 17 respectivamente.

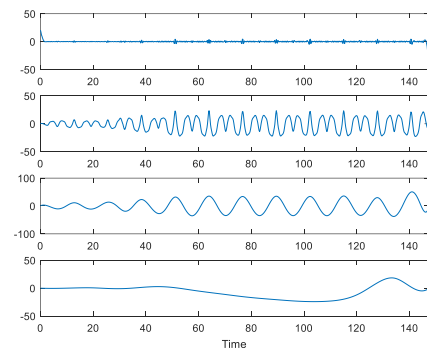


Figura 15. Funciones de modo intrínseco corriente

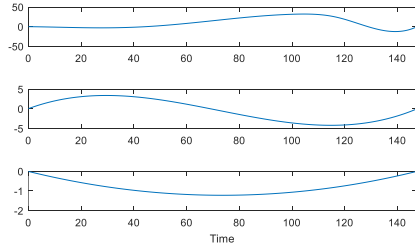


Figura 16. Funciones de modo intrínseco corriente

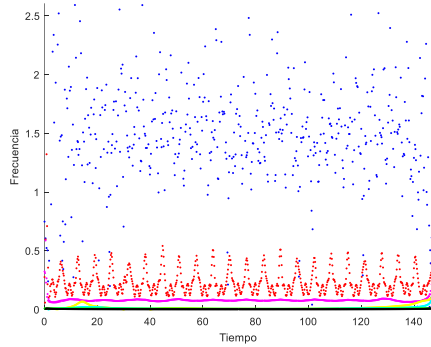


Figura 17. Señal en Tiempo - Frecuencia

A continuación, se puede observar los resultados obtenidos mediante la Transformada de Wavelet para el análisis de los armónicos de la señal de voltaje obtenidos de la carga de un vehículo y tres vehículos, respectivamente.

Además, se compara los resultados obtenidos con los límites según la norma IEEE 519 – 2014.

Para el vehículo se tiene una corriente de cortocircuito de 10KA y una corriente a plena carga de 16A [30] .

Aplicando la ecuación propuesta en la norma se tiene que:

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{10KA}{16A} = 625 \quad (29)$$

Para coeficientes menores a 1000 la norma indica que la máxima distorsión armónica permitida es del 12% para corriente[30].

En la Tabla 3 se observa que la segunda armónica es la más dañina para la red.

Tabla 3. Comparación con la norma IEEE 519 – 2014. Corriente de un vehículo.

Armónicos	Norma (%)	Obtenidos Wavelet (%)
2	12	11.52
3	12	6.44
4	12	6.45
5	12	4.29
6	12	4.21
7	12	6.80
8	12	6.79
9	12	1.99

En la Tabla 4 se observa que la segunda armónica es la más dañina para la red.

Tabla 4. Comparación con la norma IEEE 519 – 2014. Corriente de tres vehículos

Armónicos	Norma (%)	Obtenidos Wavelet (%)
2	12	14.75
3	12	6.72
4	12	6.54
5	12	4.67
6	12	4.78
7	12	8.40
8	12	8.31
9	12	1.18

El máximo nivel armónico en cuanto a corriente para un vehículo es de 11.52 % respectivamente, es decir no supera el límite permisible del 12 % fijado en el reglamento IEEE 519 – 2014, esto se puede observar de mejor manera en la Tabla 3. Además, el porcentaje máximo de distorsión armónica en cuanto a corrientes para tres vehículos es de 14.75% respectivamente, es decir supera el 12% fijado en la normativa IEEE 519 – 2014, esto se puede observar de mejor manera en la Tabla 4.

5. Conclusiones

La vinculación de los EV's a la red de distribución tiene una afectación importante debido a la naturaleza de la carga, siendo la carga cambiante y no lineal, lo que genera muchos armónicos.

Para este caso de estudio se usa la familia DB4 con el nivel de descomposición 6, debido a que en la literatura revisada en otros casos de estudio se muestran mejores resultados con esta familia de Wavelets; en tanto que la descomposición a 6 niveles permite disponer de bandas de frecuencia cuyo centro es el múltiplo de la frecuencia de 60 Hz.

Analizando los resultados obtenidos se pudo constatar que la mayor parte de la señal corresponde a la fundamental y que los armónicos se distribuyen del orden 2 al 32. El registro de datos mediante el analizador muestra la presencia de armónicos pares, esto es más evidente al momento de realizar el espectro de la señal con la Transformada de Wavelet, en este estudio se ha podido determinar que el armónico que más afecta a la red es el segundo y séptimo armónico.

En relación al número de autos, la carga de un vehículo en la red cumple con la norma IEEE 519 – 2014, mientras tanto que con la carga de tres vehículos en la red eléctrica sobrepasa el límite permisible de la norma IEEE 519 – 2014, por lo tanto, se convierte en un problema el cual debe ser analizado debido a que los elementos conectados a la red sufren varios efectos, como la sobre carga de conductores, entre otras.

Hilbert Huang es una herramienta matemática, válida en el estudio de señales no estacionarias, lo importante del método es la descomposición de la señal en funciones de modo intrínseco que permite el análisis de datos IMF's, esto consta en identificar los máximos y mínimos locales de la señal analizada, para luego interpolar creando un spline, con esto se logra obtener el promedio de la media local de las envolventes de puntos máximos y mínimos, con la finalidad de obtener la frecuencia instantánea de la señal y así determinar la afectación que cada armónico produce en el sistema.

Los resultados indican que la Transformada de Hilbert Huang es más precisa en el análisis de señales no estacionarias y no pueden ser analizadas por métodos tradicionales como Fourier Comparando los resultados conseguidos al utilizar la Transformada de Hilbert Huang y la Transformada de Wavelet se pudo comprobar que para el análisis de armónicos para este tipo de datos no estacionarios obtenidos del vehículo eléctrico que posee la UPS, la herramienta que brinda resultados más precisos es la transformada de Hilbert Huang.

6. Trabajos futuros

En este artículo se analizó el impacto que genera la inclusión de los EV's a la red eléctrica, mediante la carga de este. Para Este estudio se consideró la familia DB4 y nivel 6 de descomposición; por lo que sería interesante a futuro usar una familia wavelet diferente para saber que sucede con los resultados obtenidos.

Un trabajo adicional puede ser reproducir el trabajo actual, pero con vehículos que sean de marcas y características diferentes, de tal manera que la señal que aporte cada auto sea diferente, obteniendo una señal no estacionaria nueva.

7. Referencias

- [1] M. Farhoodnea, A. Mohamed, H. Shareef, and H. Zayandehroodi, "Power Quality Impact of Renewable Energy based Generators and Electric Vehicles on Distribution Systems," *Procedia Technol. 4th Int. Conf. Electr. Eng. Informatics*, vol. 11, no. Iceedi, pp. 11–17, 2013.
- [2] H. Nagano, R. Kimikado, M. Michihira, K. Akamatsu, M. Ozone, and T. Norisada, "Application of the Time-Frequency Analysis using

- Wavelet Transform to Harmonics analysis in the Power Conversion Systems,” *Appl. Power Electron. Conf. Expo. (APEC), 2017 IEEE*, no. 4, pp. 679–684, 2017.
- [3] N. R. Nashad, M. J. Islam, S. Alam, R. M. Rahat, M. T. A. Begum, and M. R. Alam, “A Simplistic Mathematical Approach for Detection and Classification of Power Quality Events,” pp. 698–703, 2017.
- [4] M. Haiwei, “A Power Harmonic Detection Method Based on Wavelet Neural Network,” p. 5, 2010.
- [5] M. Hosseini and S. Jalilzade, “New Method to Analyze Power Quality Phenomena Using Wavelet and S- Transform Matrix,” *18th Electr. Power Distrib. Conf.*, pp. 1–4, 2013.
- [6] Robin E. Bentley, *Handbook of Temperature Measurement: Theory and practice of thermoelectric*. Mexico City: Pearson.
- [7] N. O. A.-O. N.E. Huang, *The Hilbert–Huang Transform in Engineering*. 2005.
- [8] S. Quel and E. Inga, “State of Art , THD Minimization in Distribution Systems based on Wavelet Transform,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 4, pp. 1698–1704, 2016.
- [9] Z. Ke, H. Xiaorui, J. Jing, and L. Kai, “Research about the power consumption detection technology of charger considering the harmonic and unbalanced current,” *2014 Int. Symp. Fundam. Electr. Eng. ISFEE 2014*, 2015.
- [10] K. W. Chan and X. Luo, “Real-time scheduling of electric vehicles charging in low-voltage residential distribution systems to minimise power losses and improve voltage profile,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 8, no. 3, pp. 516–529, 2014.
- [11] J. Raharjo and O. Panangsang, “Reduction in Harmonic Voltages on Distribution System Using Wavelet Transform,” pp. 239–243, 2016.
- [12] Y. J. Liu, T. P. Chang, H. W. Chen, T. K. Chang, and P. H. Lan, “Power quality measurements of low-voltage distribution system with smart electric vehicle charging infrastructures,” *Proc. Int. Conf. Harmon. Qual. Power, ICHQP*, no. i, pp. 631–635, 2014.
- [13] R. Wang, Y. Zhang, and J. Guo, “Power harmonic analysis based on orthogonal trigonometric functions family,” *China Int. Conf. Electr. Distrib. CICED*, 2010.
- [14] Tingting He, Jianguo Zhu, and Yingjie Bai, “Optimal Charging Strategy of Electric Vehicles Customers in a Smart Electrical Car Park,” *8th IET Int. Conf. Power Electron. Mach. Drives (PEMD 2016)*, pp. 6.-6., 2016.
- [15] G. S. Kumar, D. V. S. S. S. S. Sarma, and C. Venkatesh, “Wavelet Transform Based Harmonic Analysis and Real Power Measurement,” *IEEE Conf.*, pp. 1–6, 2011.
- [16] P. Sebastian and P. A. D. Sa, “Implementation of a Power Quality Signal Classification System using Wavelet based Energy Distribution and Neural Network,” *Power Adv. Control Eng. (ICPACE), Int. Conf.*, no. 3, pp. 157–161, 2015.
- [17] G. U. O. Chun-lin, W. U. Li, W. Dan, and Q. I. W. X. Xiangning, “Impact of Electric Vehicle Charging on Power Grid,” pp. 2270–2274, 2011.
- [18] M. De Nigris, I. Gianinoni, S.

- Grillo, S. Massucco, and F. Silvestro, "Impact evaluation of plug-in electric vehicles (PEV) on electric distribution networks," *Proc. 14th Int. Conf. Harmon. Qual. Power - ICHQP 2010*, pp. 1–6, 2010.
- [19] K. Deng, J. Cao, P. Guo, and X. Xu, "Energy Saving Analysis of Harmonic Suppression in a Distribution Network," *2013 Fourth Int. Conf. Netw. Distrib. Comput.*, pp. 121–125, 2013.
- [20] S. Jazebi, M. M. Hadji, and R. A. Naghizadeh, "Distribution network reconfiguration in the presence of harmonic loads: Optimization techniques and analysis," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1929–1937, 2014.
- [21] J. Meyer, A. M. Blanco, M. Domagk, and P. Schegner, "Assessment of Prevailing Harmonic Current Emission in Public Low-Voltage Networks," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 32, no. 2, pp. 962–970, 2017.
- [22] J. Martínez and R. Castro, "Análisis de la teoría ondículas orientada a las aplicaciones en ingeniería eléctrica: Fundamentos," *E.T.D.I. Ind. Dpt. Ing. eléctrica*, p. 161, 2002.
- [23] R. D. Wallen, *The illustrated wavelet transform handbook*, vol. 38, no. 4. 2004.
- [24] G. Nicholson, V. J. Gosbell, and A. Parsotam, "Analysis of Harmonic Distortion Levels on a Distribution Network," pp. 1–7, 1999.
- [25] I. Nicolae, "Using Stationary Wavelet Transform to Evaluate the Instantaneous Components of Fundamental Frequency," no. 84, pp. 3–8, 2017.
- [26] D. Kumar, F. Zare, and S. Member, "Harmonic Analysis of Grid Connected Power Electronic Systems in Low Voltage Distribution Networks," vol. 6777, no. c, 2015.
- [27] J. Meyer, S. Mueller, S. Ungethuem, X. Xiao, A. Collin, and S. Djokic, "Harmonic and supraharmmonic emission of on-board electric vehicle chargers," *2016 IEEE PES Transm. Distrib. Conf. Expo. Am. PES T D-LA 2016*, 2017.
- [28] D. Kumar and F. Zare, "Harmonic Analysis of Grid Connected Power Electronic Systems in Low Voltage Distribution Networks," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 4, no. 1, pp. 70–79, 2016.
- [29] D. E. A. CARRERA, "Implementación de la transformada de wavelet para la medición de los diferentes tipos de perturbaciones en el laboratorio de máquinas eléctricas," Universidad Politécnica Nacional, 2014.
- [30] D. R. H. SÁNCHEZ, "Incidencia de los armónicos en la red de distribución eléctrica causada por la inclusión de vehículos eléctricos," Universidad Politecnica Salesiana Sede Quito, 2018.

8. Estado del arte

ITEM		DATOS	TEMÁTICA	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	RESTRICCIONES DEL PROBLEMA	PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA	SOLUCIÓN PROPUESTA
AÑO		TÍTULO DEL ARTÍCULO	Análisis armónicos	Reducción de distorsión armónica	Perfil de carga	Algoritmo de transformación de wavelet	Reducción de armónicos
			Transformada de wavelet	Detección de armónicos	Cargas armónicas	Técnica de filtrado digital	Detección de armónicos
			Medición potencia real	Análisis de la calidad de energía	Potencia activa	Operación sub-muestreo	Identificación de perturbación PQ
			Calidad de energía	Prevención de fuga de corriente	Espectro fuga	Método de detección de armónicos	Reconstrucción de señales distorsionadas
			Efectos de cargadores VE	Calidad de la energía eléctrica	Corriente desequilibrada	Descomponer señales de entrada	Sistema de clasificación de perturbaciones de energía
			Carga optima de VE	Predcir efectos de carga	Eventos de calidad de energía (PQ)	Método de medición de energía	Escalabilidad
			Sistema de distribución	Carga para vehículos eléctricos		Eliminación de armónicos	Dispositivos de medición de energía
			Reducción de distorsión armónica	Detección de eventos PQ		Programación de carga optima VE	Mejoramiento de la calidad de energía
			Detección de armónicos	Influencia del impacto de carga de VE		Mediciones de campo PQ	Reducción de costos
			Análisis de la calidad de energía	Emisión de corriente armónica		Modelo estadístico de cargas no lineales	Reducción de pérdidas de energía
			Prevención de fuga de corriente				Baja tensión en la red publica
			Calidad de la energía eléctrica				Aparcamiento eléctrico inteligente
			Predcir efectos de carga				Carga Vehiculos Eléctricos
			Carga para vehículos eléctricos				Predicción del impacto armónico
			Detección de eventos PQ				
			Influencia del impacto de carga de VE				
			Emisión de corriente armónica				
			Perfil de carga				
			Cargas armónicas				
			Potencia activa				
			Espectro fuga				
			Corriente desequilibrada				
			Eventos de calidad de energía (PQ)				
			Algoritmo de transformación de wavelet				
			Técnica de filtrado digital				
			Operación sub-muestreo				
			Método de detección de armónicos				
			Descomponer señales de entrada				
			Método de análisis tiempo-frecuencia				
			Técnica de mitigación de armónicos				
			Simulación en Matlab				
			Técnicas de optimización				
			Método de medición de energía				
			Eliminación de armónicos				
			Programación de carga optima VE				
			Mediciones de campo PQ				
			Modelo estadístico de cargas no lineales				
			Reducción de armónicos				
			Detección de armónicos				
			Identificación de perturbación PQ				
			Reconstrucción de señales distorsionadas				
			Sistema de clasificación de perturbaciones de energía				
			Escalabilidad				
			Dispositivos de medición de energía				
			Mejoramiento de la calidad de energía				
			Reducción de costos				
			Reducción de pérdidas de energía				
			Baja tensión en la red publica				
			Aparcamiento eléctrico inteligente				
			Carga Vehiculos Eléctricos				
			Predicción del impacto armónico				
1	2016	Reduction in Harmonic Voltages on Distribution System Using Wavelet Transform	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2011	Wavelet Transform Based Harmonic Analysis and Real Power Measurement	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	2016	State of Art, THD Minimization in Distribution Systems based on Wavelet Transform	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ITEM	DATOS	TEMÁTICA	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	RESTRICCIONES DEL PROBLEMA	PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA	SOLUCIÓN PROPUESTA
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Temática	Formulación del problema	Restricciones del problema	Propuestas para resolver el problema
4	2013	A New Method to Analyze Power Quality Phenomena Using Wavelet and S-Transform Matrix	<input type="checkbox"/> Análisis armónicos <input checked="" type="checkbox"/> Transformada de wavelet <input type="checkbox"/> Medición potencia real <input checked="" type="checkbox"/> Calidad de energía <input type="checkbox"/> Efectos de cargadores VE <input type="checkbox"/> Carga optima de VE <input type="checkbox"/> Sistema de distribución <input type="checkbox"/> Reducción de distorsión armónica <input type="checkbox"/> Detección de armónicos <input checked="" type="checkbox"/> Análisis de la calidad de energía <input type="checkbox"/> Prevención de fuga de corriente <input type="checkbox"/> Calidad de la energía eléctrica <input type="checkbox"/> Predecir efectos de carga <input type="checkbox"/> Carga para vehículos eléctricos <input type="checkbox"/> Detección de eventos PQ <input type="checkbox"/> Influencia del impacto de carga de VE <input type="checkbox"/> Emisión de corriente armónica	<input type="checkbox"/> Perfil de carga <input checked="" type="checkbox"/> Cargas armónicas <input type="checkbox"/> Potencia activa <input type="checkbox"/> Espectro fuga <input type="checkbox"/> Corriente desequilibrada <input type="checkbox"/> Eventos de calidad de energía (PQ)	<input type="checkbox"/> Algoritmo de transformación de wavelet <input type="checkbox"/> Técnica de filtrado digital <input type="checkbox"/> Operación sub-muestreo <input type="checkbox"/> Método de detección de armónicos <input type="checkbox"/> Descomponer señales de entrada <input checked="" type="checkbox"/> Método de análisis tiempo-frecuencia <input type="checkbox"/> Técnica de mitigación de armónicos <input checked="" type="checkbox"/> Simulación en Matlab <input type="checkbox"/> Técnicas de optimización <input type="checkbox"/> Método de medición de energía <input type="checkbox"/> Eliminación de armónicos <input type="checkbox"/> Programación de carga optima VE <input type="checkbox"/> Mediciones de campo PQ <input type="checkbox"/> Modelo estadístico de cargas no lineales	<input type="checkbox"/> Reducción de armónicos <input type="checkbox"/> Detección de armónicos <input checked="" type="checkbox"/> Identificación de perturbación PQ <input type="checkbox"/> Reconstrucción de señales distorsionadas <input type="checkbox"/> Sistema de clasificación de perturbaciones de energía <input type="checkbox"/> Escalabilidad <input type="checkbox"/> Dispositivos de medición de energía <input type="checkbox"/> Mejoramiento de la calidad de energía <input type="checkbox"/> Reducción de costos <input type="checkbox"/> Reducción de pérdidas de energía <input type="checkbox"/> Baja tensión en la red publica <input type="checkbox"/> Aparcamiento eléctrico inteligente <input type="checkbox"/> Carga Vehículos Eléctricos <input type="checkbox"/> Predicción del impacto armónico
5	2015	Implementation of a Power Quality Signal Classification System using Wavelet based Energy Distribution and Neural Network	<input type="checkbox"/> Análisis armónicos <input checked="" type="checkbox"/> Transformada de wavelet <input type="checkbox"/> Medición potencia real <input checked="" type="checkbox"/> Calidad de energía <input type="checkbox"/> Efectos de cargadores VE <input type="checkbox"/> Carga optima de VE <input checked="" type="checkbox"/> Sistema de distribución <input type="checkbox"/> Reducción de distorsión armónica <input type="checkbox"/> Detección de armónicos <input checked="" type="checkbox"/> Análisis de la calidad de energía <input type="checkbox"/> Prevención de fuga de corriente <input type="checkbox"/> Calidad de la energía eléctrica <input type="checkbox"/> Predecir efectos de carga <input type="checkbox"/> Carga para vehículos eléctricos <input type="checkbox"/> Detección de eventos PQ <input type="checkbox"/> Influencia del impacto de carga de VE <input type="checkbox"/> Emisión de corriente armónica	<input checked="" type="checkbox"/> Perfil de carga <input checked="" type="checkbox"/> Cargas armónicas <input type="checkbox"/> Potencia activa <input type="checkbox"/> Espectro fuga <input type="checkbox"/> Corriente desequilibrada <input type="checkbox"/> Eventos de calidad de energía (PQ)	<input checked="" type="checkbox"/> Algoritmo de transformación de wavelet <input type="checkbox"/> Técnica de filtrado digital <input type="checkbox"/> Operación sub-muestreo <input type="checkbox"/> Método de detección de armónicos <input type="checkbox"/> Descomponer señales de entrada <input type="checkbox"/> Método de análisis tiempo-frecuencia <input type="checkbox"/> Técnica de mitigación de armónicos <input checked="" type="checkbox"/> Simulación en Matlab <input type="checkbox"/> Técnicas de optimización <input type="checkbox"/> Método de medición de energía <input type="checkbox"/> Eliminación de armónicos <input type="checkbox"/> Programación de carga optima VE <input type="checkbox"/> Mediciones de campo PQ <input type="checkbox"/> Modelo estadístico de cargas no lineales	<input type="checkbox"/> Reducción de armónicos <input type="checkbox"/> Detección de armónicos <input type="checkbox"/> Identificación de perturbación PQ <input type="checkbox"/> Reconstrucción de señales distorsionadas <input checked="" type="checkbox"/> Sistema de clasificación de perturbaciones de energía <input type="checkbox"/> Escalabilidad <input type="checkbox"/> Dispositivos de medición de energía <input type="checkbox"/> Mejoramiento de la calidad de energía <input type="checkbox"/> Reducción de costos <input type="checkbox"/> Reducción de pérdidas de energía <input type="checkbox"/> Baja tensión en la red publica <input type="checkbox"/> Aparcamiento eléctrico inteligente <input type="checkbox"/> Carga Vehículos Eléctricos <input type="checkbox"/> Predicción del impacto armónico
6	2017	Application of the Time-Frequency Analysis using Wavelet Transform to Harmonics analysis in the Power Conversion Systems	<input checked="" type="checkbox"/> Análisis armónicos <input checked="" type="checkbox"/> Transformada de wavelet <input type="checkbox"/> Medición potencia real <input type="checkbox"/> Calidad de energía <input type="checkbox"/> Efectos de cargadores VE <input type="checkbox"/> Carga optima de VE <input type="checkbox"/> Sistema de distribución <input checked="" type="checkbox"/> Reducción de distorsión armónica <input type="checkbox"/> Detección de armónicos <input type="checkbox"/> Análisis de la calidad de energía <input type="checkbox"/> Prevención de fuga de corriente <input type="checkbox"/> Calidad de la energía eléctrica <input type="checkbox"/> Predecir efectos de carga <input type="checkbox"/> Carga para vehículos eléctricos <input type="checkbox"/> Detección de eventos PQ <input type="checkbox"/> Influencia del impacto de carga de VE <input type="checkbox"/> Emisión de corriente armónica	<input checked="" type="checkbox"/> Perfil de carga <input type="checkbox"/> Cargas armónicas <input type="checkbox"/> Potencia activa <input type="checkbox"/> Espectro fuga <input type="checkbox"/> Corriente desequilibrada <input type="checkbox"/> Eventos de calidad de energía (PQ)	<input type="checkbox"/> Algoritmo de transformación de wavelet <input type="checkbox"/> Técnica de filtrado digital <input type="checkbox"/> Operación sub-muestreo <input type="checkbox"/> Método de detección de armónicos <input type="checkbox"/> Descomponer señales de entrada <input type="checkbox"/> Método de análisis tiempo-frecuencia <input type="checkbox"/> Técnica de mitigación de armónicos <input type="checkbox"/> Simulación en Matlab <input type="checkbox"/> Técnicas de optimización <input type="checkbox"/> Método de medición de energía <input type="checkbox"/> Eliminación de armónicos <input type="checkbox"/> Programación de carga optima VE <input type="checkbox"/> Mediciones de campo PQ <input type="checkbox"/> Modelo estadístico de cargas no lineales	<input checked="" type="checkbox"/> Reducción de armónicos <input type="checkbox"/> Detección de armónicos <input type="checkbox"/> Identificación de perturbación PQ <input type="checkbox"/> Reconstrucción de señales distorsionadas <input type="checkbox"/> Sistema de clasificación de perturbaciones de energía <input checked="" type="checkbox"/> Escalabilidad <input type="checkbox"/> Dispositivos de medición de energía <input type="checkbox"/> Mejoramiento de la calidad de energía <input type="checkbox"/> Reducción de costos <input type="checkbox"/> Reducción de pérdidas de energía <input type="checkbox"/> Baja tensión en la red publica <input type="checkbox"/> Aparcamiento eléctrico inteligente <input type="checkbox"/> Carga Vehículos Eléctricos <input type="checkbox"/> Predicción del impacto armónico
7	2010	Power harmonic analysis based on Orthogonal Trigonometric Functions Family	<input checked="" type="checkbox"/> Análisis armónicos <input type="checkbox"/> Transformada de wavelet <input type="checkbox"/> Medición potencia real <input type="checkbox"/> Calidad de energía <input type="checkbox"/> Efectos de cargadores VE <input type="checkbox"/> Carga optima de VE <input type="checkbox"/> Sistema de distribución <input type="checkbox"/> Reducción de distorsión armónica <input checked="" type="checkbox"/> Detección de armónicos <input type="checkbox"/> Análisis de la calidad de energía <input type="checkbox"/> Prevención de fuga de corriente <input type="checkbox"/> Calidad de la energía eléctrica <input type="checkbox"/> Predecir efectos de carga <input type="checkbox"/> Carga para vehículos eléctricos <input type="checkbox"/> Detección de eventos PQ <input type="checkbox"/> Influencia del impacto de carga de VE <input type="checkbox"/> Emisión de corriente armónica	<input type="checkbox"/> Perfil de carga <input type="checkbox"/> Cargas armónicas <input type="checkbox"/> Potencia activa <input checked="" type="checkbox"/> Espectro fuga <input type="checkbox"/> Corriente desequilibrada <input type="checkbox"/> Eventos de calidad de energía (PQ)	<input checked="" type="checkbox"/> Algoritmo de transformación de wavelet <input type="checkbox"/> Técnica de filtrado digital <input type="checkbox"/> Operación sub-muestreo <input checked="" type="checkbox"/> Método de detección de armónicos <input type="checkbox"/> Descomponer señales de entrada <input type="checkbox"/> Método de análisis tiempo-frecuencia <input type="checkbox"/> Técnica de mitigación de armónicos <input type="checkbox"/> Simulación en Matlab <input type="checkbox"/> Técnicas de optimización <input type="checkbox"/> Método de medición de energía <input type="checkbox"/> Eliminación de armónicos <input type="checkbox"/> Programación de carga optima VE <input type="checkbox"/> Mediciones de campo PQ <input type="checkbox"/> Modelo estadístico de cargas no lineales	<input type="checkbox"/> Reducción de armónicos <input checked="" type="checkbox"/> Detección de armónicos <input type="checkbox"/> Identificación de perturbación PQ <input type="checkbox"/> Reconstrucción de señales distorsionadas <input type="checkbox"/> Sistema de clasificación de perturbaciones de energía <input type="checkbox"/> Escalabilidad <input type="checkbox"/> Dispositivos de medición de energía <input type="checkbox"/> Mejoramiento de la calidad de energía <input type="checkbox"/> Reducción de costos <input type="checkbox"/> Reducción de pérdidas de energía <input type="checkbox"/> Baja tensión en la red publica <input type="checkbox"/> Aparcamiento eléctrico inteligente <input type="checkbox"/> Carga Vehículos Eléctricos <input type="checkbox"/> Predicción del impacto armónico

		DATOS	TEMÁTICA		FORMULACIÓN DEL PROBLEMA								RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA										SOLUCIÓN PROPUESTA																																																																																																																																																																																																																																																																																					
ITEM			Análisis armónicos								Perfil de carga		Algoritmo de transformación de wavelet										Reducción de armónicos																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Transformada de wavelet	Medición potencia real	Calidad de energía	Efectos de cargadores VE	Carga optima de VE	Sistema de distribución	Reducción de distorsión armónica	Detección de armónicos	Análisis de la calidad de energía	Prevención de fuga de corriente	Calidad de la energía eléctrica	Prededir efectos de carga	Carga para vehículos eléctricos	Detección de eventos PQ	Influencia del impacto de carga de VE	Emisión de corriente armónica	Cargas armónicas	Potencia activa	Espectro fuga	Corriente desequilibrada	Eventos de calidad de energía (PQ)	Técnica de filtrado digital	Operación sub-muestreo	Método de detección de armónicos	Descomponer señales de entrada	Método de análisis tiempo-frecuencia	Técnica de mitigación de armónicos	Simulación en Matlab	Técnicas de optimización	Método de medición de energía	Eliminación de armónicos	Programación de carga optima VE	Mediciones de campo PQ	Modelo estadístico de cargas no lineales	Reducción de armónicos	Detección de armónicos	Identificación de perturbación PQ	Reconstrucción de señales distorsionadas	Sistema de clasificación de perturbaciones de energía	Escalabilidad	Dispositivos de medición de energía	Mejoramiento de la calidad de energía	Reducción de costos	Reducción de pérdidas de energía	Baja tensión en la red publica	Aparcamiento eléctrico inteligente	Carga Vehículos Eléctricos	Predicción del impacto armónico																																																																																																																																																																																																																																																												
8	2011	Impact of electric vehicle charging on power grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[illegible]

[illegible]

Figura 18: Resumen e indicadores del estado del arte

